

# Doppler studies in the femoro-popliteal pathway

Citation for published version (APA):

Bruins Slot, H. (1981). *Doppler studies in the femoro-popliteal pathway*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Rijksuniversiteit Limburg. <https://doi.org/10.26481/dis.19810626hb>

**Document status and date:**

Published: 01/01/1981

**DOI:**

[10.26481/dis.19810626hb](https://doi.org/10.26481/dis.19810626hb)

**Document Version:**

Publisher's PDF, also known as Version of record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Summary

This thesis reports on the practical value of a noninvasive method for the discrimination of three arteriographic groups in the femoro-popliteal pathway. Two Doppler instrumentations are compared, a commercially available continuous-wave instrument (CW) and a multi-gate pulsed Doppler system (PD), both measuring the velocity at several arterial sites in the femoro-popliteal pathway with one transducer, for on-line calculation of the pulsatility index ( $PI_{CW}$  and  $PI_{PD}$ ) as well as the delay-time ( $DT_{CW}$  and  $DT_{PD}$ ), which is defined as the time-lag between the R-wave of the ECG and the arrival of the systolic peak of the velocity signal. The zero-crosser output of each Doppler instrumentation was fed into an especially designed instrument, the wave form analyser, for on-line calculation of  $PI$  and  $DT_{peak-to-peak}$ . Mean values of the  $PI$  and the  $DT$  (20-30 heartbeats) are used to compute damping ( $\Delta_{CW}$  and  $\Delta_{PD}$ ) and transit-time ( $TT_{CW}$  and  $TT_{PD}$ ) as determined with both instrumentations between the common femoral and popliteal arteries. An additional damping factor between the deep femoral and popliteal arteries could be calculated using the multi-gate pulsed Doppler system, because it allows for well-controlled centerstream velocity measurements at known distances away from the transducer e.g. the deep femoral artery. The multi-gate pulsed Doppler system displays simultaneously and instantaneously the temporal and spatial velocity behaviour in 32 adjacent sample volumes along the ultrasonic beam. The number of channels, actively engaged with velocity signals, can be counted, which provides an ultrasonic estimation of the arterial diameter. Subsequent analysis deals with the comparison and accuracy of these parameters to discriminate between three arteriographic groups.

The *introduction* pictures vascular surgery in its present day status and it emphasizes the need for practical, reliable and objective methods to assess function and loss of function in the vascular system.

*Chapter 2* provides the reader with a condensed review of the literature on the physiology and patho-physiology of vascular disease. Several parameters of atherosclerotic disease are discussed. In the second part of this chapter attention is focussed on the physical properties of Doppler instruments and the versatility of their diagnostic application. The literature dealing with pulsatility index and transit-time is reviewed.

*Chapter 3* accounts in detail for the materials and methods used in the study, placing some emphasis on the interpretation of arteriography and on the employed statistical method, discriminant analysis.

Several instrument-related and patient-examiner related sources of error and variation are recognized but only shortly discussed because extensive evaluation of their significance is considered to be beyond the scope and design of this study.

Eight sections in *chapter 4* present the results of this study, each section followed by a concise discussion.

*Section 4.2:* The mean value of PI and DT was determined over 20-30 consecutive heartbeats and the corresponding parameters of both instrumentations, obtained at six arterial sites, were compared with linear regression and correlation analysis.  $PI_{PD}$  and  $PI_{CW}$  correlated poorly especially in the higher PI range, whereas  $DT_{PD}$  and  $DT_{CW}$  showed acceptable correlation. Some of the possible explanations are discussed. The patient- and examiner-related sources of error or variation seem of less significance in the measurement of  $DT_{peak-to-peak}$  than of PI.

*Section 4.3:* The impression existed during the preliminary phase of this study that the arterial diameter estimation with the multi-gate pulsed Doppler system corresponded well with the arterial diameter measured on the arteriogram. To evaluate the accuracy of these ultrasonically estimated diameters, they were correlated with the arteriographically measured diameter in six arterial sites. The best correlation was found in the superficial femoral artery (SFA) at 20 cm's below the inguinal ligament ( $R = 0.8$ ). The multi-gate pulsed Doppler system can accurately diagnose an occlusion in the proximal part of the SFA in 72-84%. The conclusion that the ultrasonic estimation of the arterial diameter provides useful clinical evaluation is illustrated with many examples.

*Section 4.4:* The ankle systolic pressure index (ASPI) at rest and after exercise were evaluated in five groups of legs with various combinations of aorto-iliac and femoro-popliteal disease and in a group of legs free from atherosclerotic disease. The ability of the ASPI to distinguish normal legs from legs with significant atherosclerotic disease is extremely high (specificity 99%), especially if the ankle pressure is determined after exercise. The cumulative effect of multi-level disease on the ASPI is evident, however, no deductions can be made regarding the localization of significant lesions.

*Section 4.5:* The influence of concomitant aorto-iliac disease on the value of damping ( $\Delta_{CW}$  and  $\Delta_{PD}$ ),  $TT_{peak-to-peak}$  ( $TT_{CW}$  and  $TT_{PD}$ ) and the diameter of the SFA at 15 and 20 cm's below the inguinal ligament is examined in five groups with various combinations of superficial femoral artery and aorto-iliac disease. No statistically significant differences between the mean values of these parameters in arteriographic groups with or without aorto-iliac disease are present, thus illustrating their independence from disease proximal to the femoral artery.

*Section 4.6:* If reflections occur in the femoral artery in the presence of significant atherosclerotic disease of the SFA, they may influence the contour of the velocity wave form and thus the value of PI. Thirty-eight percent of the common femoral artery velocity wave forms obtained with the pulsed Doppler system showed a dicrotic 'notch'. The dicrotic 'notch' probably indicates the presence of reflected velocity waves, because they occur predominantly in association with occlusions in the proximal part of the SFA. It is likely that reflections in this area contribute to the overlap between the various parameters for different arteriographic groups.

*Section 4.7:* This section should be considered preparatory to section 4.9 since it deals with the previously described parameters in relation to 21 arteriographic subgroups composed by various combinations of significant lesions in the femoro-popliteal pathway. It emphasizes the variability of atherosclerotic disease in this area. However, separate evaluation of each of these (small) groups was not considered useful so that each leg was re-allocated into one of three possible groups (0 = normal, 1 = stenosis, 2 = occlusion). None of the hemodynamic parameters

could individually distinguish between them because of mutual overlap between the three groups.

*Section 4.8:* The pulse wave velocity is known to be influenced by the intraluminal arterial pressure, so that the discriminative value of  $TT_{\text{peak-to-peak}}$  for femoro-popliteal disease might benefit from normalization for the blood pressure distal to a significant aorto-iliac lesion.  $TT_{\text{peak-to-peak}}$  in 97 normal legs was correlated with the systolic arterial pressure. Although a slight decrease of TT could be observed with increasing blood pressure, the measurement error or variation, represented by the scatter around the regression line, would certainly obscure the possible benefit of normalization.

*Section 4.9:* Since none of the hemodynamic parameters could individually classify a leg into a particular arteriographic group, discriminant analysis was employed to make optimal use of the variance present over all parameters. Three arteriographic groups were *a priori* defined and the diagnostic accuracy of several parameter combinations was *a posteriori* determined after calculation of two linear functions. This was done separately for parameter combinations obtained with both instrumentations. It appeared that only marginal differences were present between the diagnostic accuracy of corresponding parameter combinations (approx. 80%). Transit-time ( $TT_{\text{CW}}$  and  $TT_{\text{PD}}$ ) was the best discriminatory parameter followed by damping. Of interest was that damping between the deep femoral and the popliteal artery ( $\Delta\text{prof-pop}_{\text{PD}}$ ) was a better discriminator than damping between the common femoral and the popliteal artery ( $\Delta\text{com-pop}_{\text{PD}}$ ). To replace terms like sensitivity and specificity, Kappa is proposed as a better measure for pairwise agreement when dealing with more than two groups of disease not only because it corrects for differently composed patient populations but also because it can express the meaning of different 'degrees' of false positive or false negative ratings.

One example of discriminant analysis is thoroughly discussed, to outline the practical usefulness of the 'butterfly' shaped diagram presented with this type of analysis. It is suggested that the hemodynamic parameters, as well as the applied analysis technique, are sensitive enough to visualize differences in collateral function of individual patients.

In *chapter five* a discussion of the most prominent findings of chapter four is presented. Eight major conclusions are summarized regarding:

- the alleged inferiority of a zero-crossing meter for quantitating measurements using PI and DT, calculated from the analog wave form
- the on-line measurement with one transducer and calculation of damping and  $TT_{\text{peak-to-peak}}$  using averaged (20-30 heartbeats) values of PI and DT
- the anatomic information supplied by the multi-gate pulsed Doppler system
- the absence of improvement of  $TT_{\text{peak-to-peak}}$  following 'normalization' for systolic blood pressure
- the influence of reflected velocity waves on the various hemodynamic parameters
- the cause of overlapping parameter ranges
- the desirability for the introduction of a better measure for pair-wise agreement (Kappa)
- the similar performance of the CW and the multi-gate pulsed Doppler system to classify atherosclerotic lesions in the femoro-popliteal pathway with the hemodynamic parameters damping and TT, according to three arteriographic groups.

# Samenvatting

Dit proefschrift beschrijft de bruikbaarheid van een non-invasieve methode ter onderscheiding van atherosclerotische afwijkingen in het femoro-popliteale traject die zijn ingedeeld in drie arteriografische groepen. Twee Doppler instrumentaties worden vergeleken, nl. een commercieel verkrijgbaar continuous wave instrument (CW) en een multi-gate pulsed Doppler systeem (PD). Aan het snelheidssignaal werd de pulsatiliteitsindex ( $PI_{CW}$  en  $PI_{PD}$ ) bepaald, die is gedefinieerd als het verschil van de maximale en minimale snelheden gedeeld door de gemiddelde snelheid tijdens één hartcyclus. Tevens werd de vertragingstijd ( $DT_{peak-to-peak}$ ) tussen de R-golf van het ECG en de aankomst van de snelheidsgolf bij de meetplaats ( $DT_{CW}$  en  $DT_{PD}$ ) geregistreerd. De metingen werden op meerdere plaatsen in het femoro-popliteale traject uitgevoerd met slechts één transducer.

Het uitgangsvoltage van de nulpuntenteller, gebruikt in beide apparaten, werd naar een speciaal ontworpen instrument geleid, de 'wave form analyser', voor automatische bepaling van beide parameters. Gemiddelde waarden van  $PI$  en  $DT_{peak-to-peak}$  (20-30 hartslagen), met beide instrumentaties verkregen, werden gebruikt om de dampingfactor ( $PI$  distaal/ $PI$  proximaal) en de looptijd ( $DT$  distaal- $DT$  proximaal) te berekenen over het arteriële traject tussen de arteria femoralis communis en de arteria poplitea.

Het multi-gate pulsed Doppler-systeem biedt de mogelijkheid om een tweede dampingfactor te berekenen over dit traject omdat snelheidsinformatie verkregen kan worden vanuit het midden van een arterie gelegen op bekende afstand van de transducer, zoals b.v. in de arteria profunda femoris. De bloedstroomsnelheid in 32 naast elkaar gelegen bemonsteringseenheden in de richting van de ultrageluidsbundel, kan door het multi-gate pulsed Doppler systeem tegelijkertijd zichtbaar worden gemaakt. Het aantal kanalen waarin snelheidssignalen aanwezig waren, gaf een ultrasonore schatting van de arteriële diameter. Dit proefschrift heeft de vergelijking en betrouwbaarheidsbepaling van genoemde parameters (damping en looptijd) om drie arteriografische groepen van elkaar te onderscheiden, tot onderwerp.

*De introductie* schetst de behoefte van de hedendaagse vaatchirurgie aan een praktische, betrouwbare en objectieve methode om functie en verlies van functie van bloedvaten te meten.

In *hoofdstuk 2* wordt een beknopt overzicht gegeven van de literatuur over de fysiologie en pathofysiologie van atherosclerotische bloedvaten. Verschillende diagnostische parameters worden behandeld. In het tweede deel van dit hoofdstuk is de aandacht meer gericht op de fysische eigenschappen van Doppler instrumenten en op de veelzijdigheid van hun diagnostische toepassingen. Een overzicht wordt gegeven van de literatuur die betrekking heeft op  $PI$  en looptijd.

*Hoofdstuk 3* behandelt in detail het materiaal en de methodiek zoals ze in deze studie werden gebruikt. De beoordeling van arteriografie krijgt hierbij uitvoerig

aandacht, evenals de gebruikte statistische methode, discriminant analyse. Verschillende oorzaken voor het optreden van fouten en variaties in de meetwaarden worden genoemd en kort besproken, omdat een uitgebreide behandeling buiten het bestek van dit proefschrift valt.

Secties 4.2 t/m 4.9 van *hoofdstuk 4* geven de resultaten van deze studie, elk deel wordt gevolgd door een beknopte discussie.

*Sectie 4.2:* Na berekening van de gemiddelde PI- en DT-waarden over 20-30 opeenvolgende hartslagen, werden de overeenkomende parameters, zoals deze met beide instrumentaties op zes verschillende plaatsen in het bovenbeen waren gemeten, vergeleken door middel van correlatie- en lineaire regressieanalyse.

$PI_{PD}$  en  $PI_{CW}$  correleren slecht, vooral bij hogere waarden van PI, terwijl  $TT_{PD}$  en  $TT_{CW}$  redelijk goed met elkaar overeen komen. Een korte discussie wordt gewijd aan enkele mogelijke oorzaken. Oorzaken van meetfouten of variaties die terug te voeren zijn op de patient of de onderzoeker worden van minder belang geacht bij de bepaling van  $DT_{peak-to-peak}$  dan bij PI.

*Sectie 4.3:* In een vroeg stadium van deze studie werd reeds de indruk verkregen dat de ultrasonore schatting van de arteriële diameter met behulp van het multi-gate pulsed Doppler apparaat goed overeenkwam met de arteriografische diameter van een arterie. De kwaliteit van deze vermeende correlatie werd getoetst op zes plaatsen in het bovenbeen.

De beste correlatie bestaat in de arteria femoralis superficialis (AFS) gemeten 20 cm onder het ligament van Poupart ( $R = 0.8$ ). Het multi-gate pulsed Doppler systeem blijkt een afsluiting in het proximale deel van de AFS met een betrouwbaarheid van 72 tot 84% te kunnen bepalen. De conclusie dat de ultrasonore schatting van de arteriële diameter nuttige informatie oplevert voor de klinicus, wordt met vele voorbeelden geïllustreerd.

*Sectie 4.4:* De waarde van systolische bloeddrukmetingen ter hoogte van de enkel in rust en na inspanning op een lopende band, werd onderzocht in vijf groepen benen met verschillende combinaties van aorto-iliacale en femoro-popliteale afwijkingen, en in een groep benen zonder arteriële afwijkingen.

De diagnostische betrouwbaarheid van de arm-enkel index, om normale benen te onderscheiden van benen met significante arteriële afwijkingen, is zeer hoog (specificiteit 99%), vooral als de index is bepaald na inspanning. Het cumulatieve effect van atherosclerotische laesies of meerdere niveaus op de enkel-arm index is duidelijk, ofschoon het geen ruimte laat voor conclusies betreffende hun localisatie.

*Sectie 4.5:* De invloed van aorto-iliacale afwijkingen op damping,  $TT_{peak-to-peak}$  en de diameter van de AFS op 15 en 20 cm onder het ligament van Poupart werd onderzocht in vijf verschillende groepen benen.

Er bestaan geen statistisch significante verschillen tussen de gemiddelde waarden van de parameters afkomstig van benen met en zonder aorto-iliacale afwijkingen, hetgeen de onafhankelijkheid van deze parameters, voor afwijkingen boven het femoro-popliteale traject, bevestigt.

*Sectie 4.6:* Als tengevolge van atherosclerotische afwijkingen van de AFS reflecties voorkomen in de arteria femoralis communis, dan zouden deze de vorm van de snelheidscurve kunnen beïnvloeden en dientengevolge de waarde van PI.

In 38% van de benen met een afgesloten AFS, blijkt een zogemaande 'dicotic

notch' aanwezig te zijn in de snelheidscurve zoals deze over de arteria femoralis communis was verkregen met het multi-gate pulsed Doppler systeem. De aanwezigheid van een 'dicrotic notch' duidt op het bestaan van gereflecteerde snelheidsgolven, omdat deze kenmerkende vervorming van de snelheidscurve vooral wordt gezien in samenhang met afsluitingen in het proximale gedeelte van de AFS. Het is niet onwaarschijnlijk dat reflecties in dit gebied bijdragen tot de overlapping van het bereik van de parameters tussen de verschillende arteriografische groepen.

*Sectie 4.7:* Deze sectie dient te worden beschouwd als de aanloop tot sectie 4.9. De eerder beschreven parameters werden vergeleken aan de hand van 21 verschillende arteriografische subgroepen, die werden samengesteld uit combinaties van significante laesies in het femoro-popliteale traject.

De variabiliteit van atherosclerotische afwijkingen in dit gebied komt hierin duidelijk tot uiting. De benen worden heringedeeld in drie groepen (0 = normaal, 1 = stenose, 2 = occlusie), omdat apart onderzoek van de meeste (kleine) groepen om statistische redenen niet zinvol wordt geacht. Niet één van de haemodynamische parameters blijkt in staat om een been met zekerheid in één van deze drie groepen in te delen tengevolge van de bestaande overlapping.

*Sectie 4.8:* De intra-arteriële bloeddruk beïnvloedt de snelheid van de polsgolf, zodat het scheidend vermogen van  $TT_{\text{peak-to-peak}}$  voor afwijkingen in het femoro-popliteale traject mogelijk verbetert na correctie (normalisatie) voor de heersende bloeddruk, distaal van een atherosclerotische laesie.  $TT_{\text{peak-to-peak}}$  werd gecorrigeerd met de systolische arteriële bloeddruk in 97 normale benen.

Ofschoon een mogelijke afname van de looptijd met toenemende bloeddruk kan worden vastgesteld, blijken, zoals duidelijk werd uit de spreiding van de waarden rond de regressielijn, meetfouten of variaties het mogelijk goede effect hiervan te verhullen.

*Sectie 4.9:* Geen van de haemodynamische parameters bleek in staat een been met zekerheid in een bepaalde arteriografische groep in te delen. Om deze reden werd gebruik gemaakt van discriminant analyse, zodat de bestaande variantie over de parameters optimaal kon worden benut. De diagnostische betrouwbaarheid van de verschillende parametercombinaties, met het doel de benen in te delen (à posteriori) naar hun arteriografische classificatie (à priori), werd bepaald na berekening van twee lineaire functies. Deze analyse werd afzonderlijk uitgevoerd op parameter combinaties verkregen met beide instrumentaties.

Er blijken slechts marginale verschillen aanwezig te zijn tussen de diagnostische betrouwbaarheid van corresponderende parametercombinaties afkomstig van beide instrumentaties (ongeveer 80%). Looptijd blijkt de hoogste discriminerende waarde te hebben, gevolgd door damping.

Opmerkelijk is dat damping ( $\Delta\text{prof-pop}_{PD}$ ), berekend over de arteria profunda femoris en de arteria poplitea, beter discrimineert tussen de drie arteriografische groepen dan damping ( $\Delta\text{com-pop}_{PD}$ ) over de arteria femoralis communis en de arteria poplitea.

Ter vervanging van de begrippen 'sensitivity' en 'specificity' wordt Kappa geïntroduceerd als een betere maat voor overeenstemming tussen twee methodes, omdat het de mogelijkheid biedt deze diagnostische overeenstemming (diagnostic accuracy) te corrigeren voor verschillend samengestelde groepen van benen. Tevens biedt Kappa de mogelijkheid om verschillende nuances van 'fout' (vals positief of vals negatief) tot uitdrukking te brengen.

Eén voorbeeld van discriminant analyse wordt uitvoerig besproken teneinde de praktische bruikbaarheid van de door de analyse verkregen 'vlinderfiguur' duidelijk naar voren te brengen.

De indruk bestaat dat zowel de haemodynamische parameters als de toegepaste analyse-methode gevoelig genoeg zijn, om het functieververschil tussen collateralsystemen van individuele patiënten zichtbaar te maken.

In *hoofdstuk 5* worden de belangrijkste bevindingen, zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4, nader besproken. De acht voornaamste conclusies worden hieronder kort weergegeven. Ze hebben betrekking op:

- het vermeende slecht functioneren van een nulpuntenteller bij de berekening van PI en DT aan het analoge snelheidssignaal.
- de effectiviteit van de automatische PI en DT bepaling met één transducer en de hieropvolgende berekening van damping en TT met de gemiddelde parameter waarden (20-30 hartslagen).
- de anatomische informatie die wordt verkregen door toepassing van het multi-gate pulsed Doppler systeem.
- de uitgebleven verbetering van de discriminerende waarde van  $TT_{\text{peak-to-peak}}$  na normalisatie voor de systolische bloeddruk.
- de invloed van gereflecteerde snelheidsgolven op betrouwbaarheid van de onderzochte haemodynamische parameters.
- het complex van oorzaken die bijdragen tot de geconstateerde overlapping van de parameters tussen de arteriografische groepen.
- de wenselijkheid om een betere maat voor overeenstemming tussen twee methodes in te voeren (Kappa).
- de gelijkheid van het CW en het multi-gate pulsed Doppler systeem wat betreft hun vermogen om afwijkingen in het femoro-popliteale traject met behulp van damping en looptijd in te delen overeenkomstig drie arteriografische groepen.